

# ВСТРАИВАЕМЫЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ



**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

Практический курс разработки и отладки  
программного обеспечения  
сигнальных микроконтроллеров

**TMS320x28xxx**

в интегрированной среде Code Composer Studio

Издательский дом МЭИ

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Предисловие</b> .....                                                                                                                                                                                       | <b>3</b> |
| <br><b>Глава 1. Устройство и функциональные возможности оценочной платы eZdsp™ F2812 для разработки и отладки программного обеспечения в интегрированной среде Code Composer Studio. Введение в среду CCS.</b> |          |
| <b>Технология распределения памяти</b> .....                                                                                                                                                                   | <b>6</b> |
| 1.1. Оценочная плата eZdsp™ F2812 .....                                                                                                                                                                        | 6        |
| 1.2. Организация памяти. Карта памяти оценочной платы eZdsp™ F2812 .....                                                                                                                                       | 18       |
| 1.3. Введение в интегрированную среду разработки и отладки программного обеспечения Code Composer Studio .....                                                                                                 | 25       |
| 1.4. Технология распределения ресурсов памяти целевой платы с помощью файла управления компоновкой. ....                                                                                                       | 36       |
| <br><b>Глава 2. Создание и отладка простых программ на языке высокого уровня C/C++ в среде Code Composer Studio</b> .....                                                                                      |          |
| 2.1. Проект. Создание нового проекта. ....                                                                                                                                                                     | 41       |
| 2.2. Создание и редактирование файла исходной программы на языке C/C++ .....                                                                                                                                   | 44       |
| 2.3. Создание и редактирование файла управления компоновкой .....                                                                                                                                              | 45       |
| 2.4. Подключение файлов к проекту .....                                                                                                                                                                        | 47       |
| 2.5. Установка опций компилятора и компоновщика .....                                                                                                                                                          | 49       |
| 2.6. Сборка и загрузка проекта .....                                                                                                                                                                           | 51       |
| 2.7. Анализ файла с картой загрузки .....                                                                                                                                                                      | 56       |
| 2.8. Использование окон отладочной среды CCS .....                                                                                                                                                             | 59       |
| 2.9. Выполнение программы по шагам .....                                                                                                                                                                       | 64       |
| 2.10. Языки C/C++ и Ассемблер. ....                                                                                                                                                                            | 64       |
| <br><b>Глава 3. Знакомство с языком программирования Си для микроконтроллеров TMS320x28xx. Освоение методов отладки программ в среде Code Composer Studio.</b>                                                 |          |
| 3.1. Краткие общие сведения о языке программирования Си .....                                                                                                                                                  | 68       |
| 3.2. Использование стандартных библиотек. ....                                                                                                                                                                 | 80       |
| 3.3. Функция форматированного вывода printf() .....                                                                                                                                                            | 81       |
| 3.4. Некоторые рекомендации по отладке программ .....                                                                                                                                                          | 84       |
| 3.5. Подключение стандартной библиотеки ввода/вывода. Модернизация файла управления компоновкой. ....                                                                                                          | 85       |
| 3.6. Выполнение программы в режиме прогона. ....                                                                                                                                                               | 89       |
| 3.7. Выполнение программы с точками останова. ....                                                                                                                                                             | 90       |
| 3.8. Дополнительные возможности по изучению системы команд микроконтроллера 'C28x. ....                                                                                                                        | 92       |

|                                                                                                                                                                                                      |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Глава 4. Базовые возможности языка программирования Си.....</b>                                                                                                                                   | <b>97</b>  |
| 4.1. Операторы ветвления.....                                                                                                                                                                        | 97         |
| 4.2. Операторы организации циклов.....                                                                                                                                                               | 100        |
| 4.3. Работа с указателями.....                                                                                                                                                                       | 103        |
| 4.4. Указатели и массивы.....                                                                                                                                                                        | 106        |
| 4.5. Функции в языке Си.....                                                                                                                                                                         | 110        |
| <br><b>Глава 5. Технология работы с периферийными устройствами микроконтроллеров семейства C28xx на языке Си. Работа с портами дискретного ввода/вывода, таймерами, контроллером прерываний.....</b> | <b>116</b> |
| 5.1. Способы доступа к регистрам встроенных периферийных устройств микроконтроллера на языке Си.....                                                                                                 | 116        |
| 5.2. Структура заголовочного файла периферийного устройства.....                                                                                                                                     | 121        |
| 5.3. Размещение структур регистровых файлов в памяти данных.....                                                                                                                                     | 125        |
| 5.4. Файл определения глобальных переменных.....                                                                                                                                                     | 126        |
| 5.5. Программирование периферии 'C28xx с использованием заголовочных файлов.....                                                                                                                     | 127        |
| 5.6. Основы работы с таймерами общего назначения.....                                                                                                                                                | 132        |
| 5.7. Графические окна.....                                                                                                                                                                           | 136        |
| 5.8. Введение в систему прерываний микроконтроллеров 'C28xx.....                                                                                                                                     | 137        |
| 5.9. Отладка программ в реальном времени.....                                                                                                                                                        | 143        |
| <br><b>Глава 6. Работа с библиотекой IQmath.....</b>                                                                                                                                                 | <b>147</b> |
| 6.1. Представление чисел в микроконтроллере.....                                                                                                                                                     | 147        |
| 6.2. Особенности работы с двоичными числами.....                                                                                                                                                     | 150        |
| 6.3. Основы работы с библиотекой IQmath и со стандартной библиотекой поддержки операций с плавающей точкой.....                                                                                      | 153        |
| 6.4. Изменение формата чисел при работе с библиотекой IQmath.....                                                                                                                                    | 173        |
| 6.5. Сравнение производительности при работе с числами в различных форматах ..                                                                                                                       | 175        |
| <br><b>Глава 7. Эффективные способы цифровой фильтрации сигналов.....</b>                                                                                                                            | <b>179</b> |
| 7.1. Цифровой 16-разрядный фильтр с конечной импульсной характеристикой.....                                                                                                                         | 179        |
| 7.2. Интерфейс с программой на Ассемблере, вызываемой из Си-программы.....                                                                                                                           | 188        |
| 7.3. Исследование работы модуля фильтра с конечной импульсной характеристикой.....                                                                                                                   | 193        |
| 7.4. Использование пакета MatLab для расчета коэффициентов фильтра.....                                                                                                                              | 198        |
| 7.5. Фильтры 16- и 32-разрядные с бесконечной импульсной характеристикой.....                                                                                                                        | 201        |
| <br><b>Глава 8. Технология разработки и отладки системы цифрового управления двигателем постоянного тока.....</b>                                                                                    | <b>209</b> |
| 8.1. Аппаратная структура системы управления.....                                                                                                                                                    | 209        |
| 8.2. Математическая модель двигателя постоянного тока в относительных единицах.....                                                                                                                  | 210        |
| 8.3. Дискретная модель двигателя постоянного тока.....                                                                                                                                               | 215        |
| 8.4. Передаточные функции силовых преобразователей.....                                                                                                                                              | 216        |
| 8.5. Синтез цифровой системы подчиненного регулирования координат электропривода.....                                                                                                                | 219        |
| 8.6. Построение проекта шаг за шагом.....                                                                                                                                                            | 223        |

|                                                                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Глава 9. Исследование системы векторного управления асинхронным двигателем.</b>                                 | <b>236</b> |
| 9.1. Структура аппаратной части системы ПЧ—АД .....                                                                | 236        |
| 9.2. Математическая модель асинхронного двигателя.....                                                             | 237        |
| 9.3. Принципы частотного регулирования .....                                                                       | 245        |
| 9.4. Структура проекта. Рабочая область проекта .....                                                              | 251        |
| 9.5. Исследование модели асинхронного двигателя в режиме скалярного управления                                     | 253        |
| 9.6. Исследование частотно-токовой системы управления асинхронного двигателя.<br>Настройка ПИ-регулятора тока..... | 257        |
| 9.7. Модель определения положения вектора потокоцепления ротора.....                                               | 262        |
| 9.8. Интеграция ПИ-регулятора скорости. Исследование системы векторного<br>управления асинхронным двигателем ..... | 262        |
| <b>Библиографический список .....</b>                                                                              | <b>266</b> |